

# Simulación Aplicada a la Logística

## Lectura Nr. 7 Modelos de Simulación con VENSIM

**Profesor:**

Ricardo Caballero, M.Sc.

✉ [ricardo.caballero@utp.ac.pa](mailto:ricardo.caballero@utp.ac.pa)



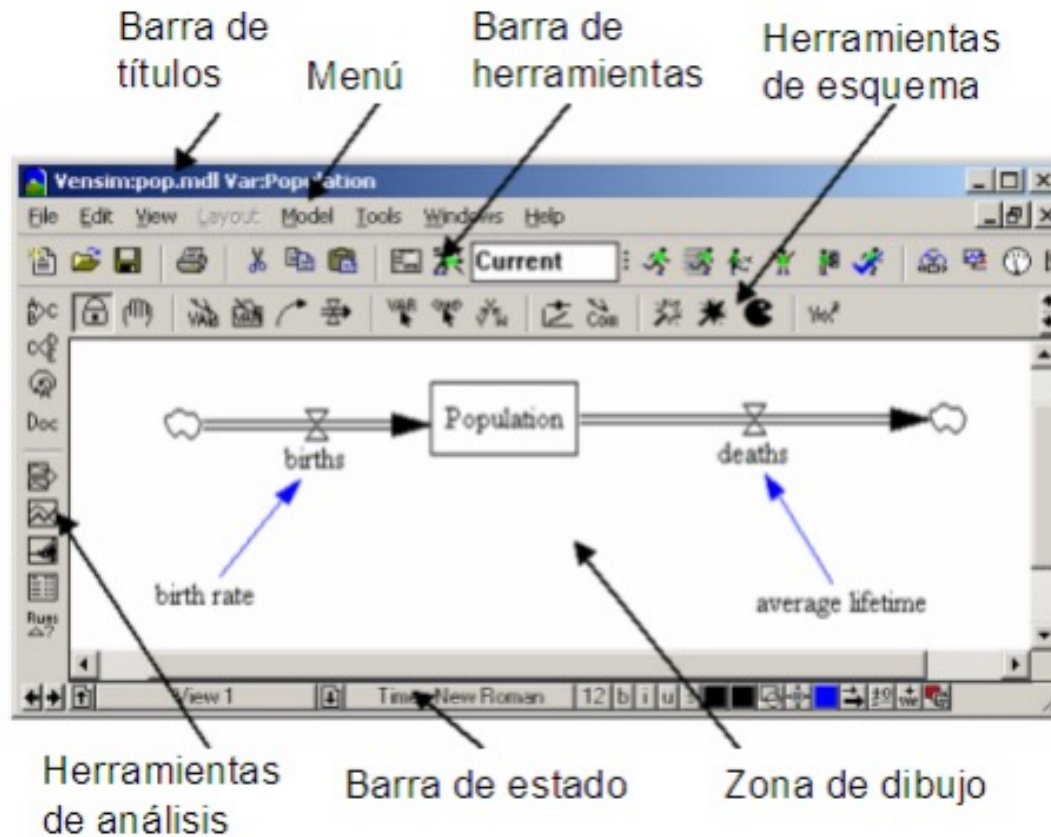
# Introducción

---

- Vensim es una herramienta de modelado visual que le permite conceptualizar, documentar, simular, analizar y optimizar modelos de sistemas dinámicos.
- Vensim proporciona una forma simple y flexible de construir modelos de simulación a partir de bucles causales o diagramas de nivel y flujo
- Las relaciones entre las variables se ingresan y registran como conexiones causales.
- Se utiliza esta información para formar un modelo de simulación completo.
- Se puede analizar el modelo a lo largo del proceso de construcción, observando las causas y los usos de una variable, y también los bucles que involucran a la variable.
- Vensim le permite explorar a fondo el comportamiento del modelo.

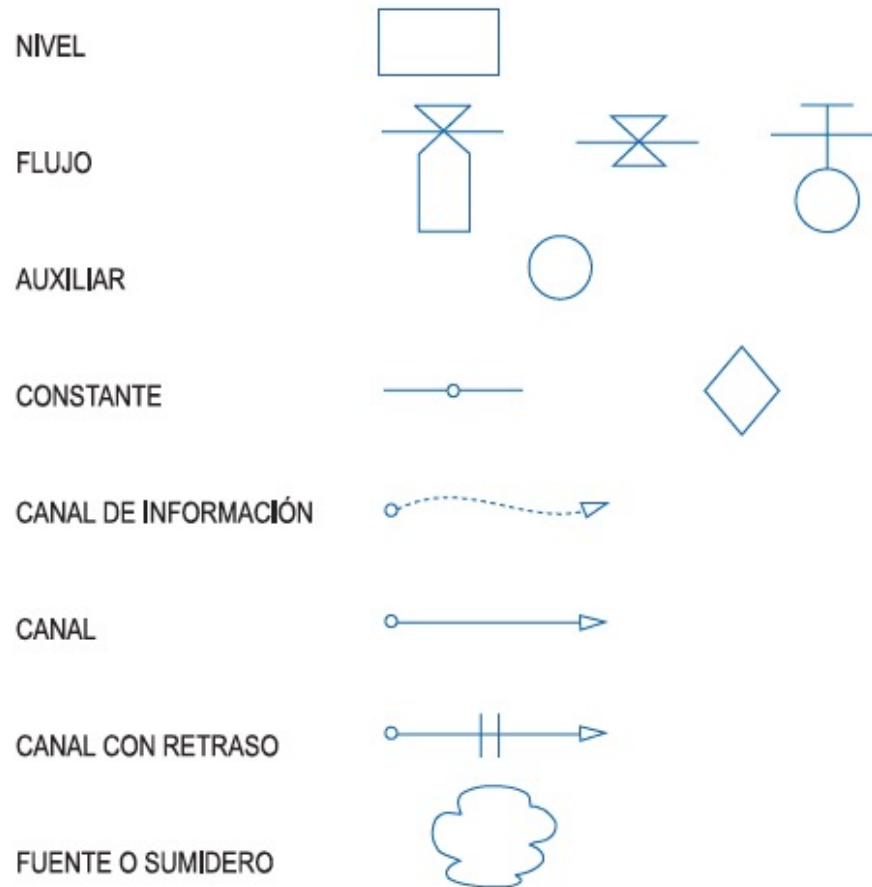


# Interfaz de usuario



# Diagrama de Forrester

El diagrama de Forrester se genera mediante la transcripción del Diagrama Causal a un conjunto de ecuaciones matemáticas, que serán procesadas en una herramienta de simulación.



# Niveles y flujos

---

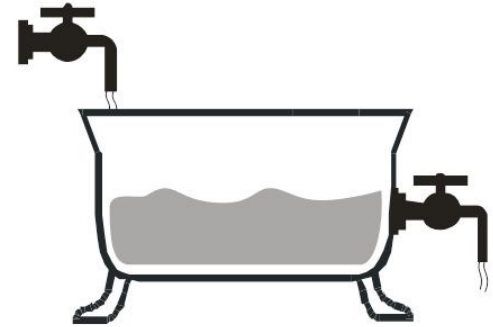
- **Niveles o variables de estado** → Referidas a un instante de tiempo
  - Población, Inventario, Productos terminados, Cantidad de productos defectuosos
- Representan una acumulación
- Muestran la situación del sistema en cada instante

**Diagrama de Nivel y Flujo**



## Niveles: Ejemplo

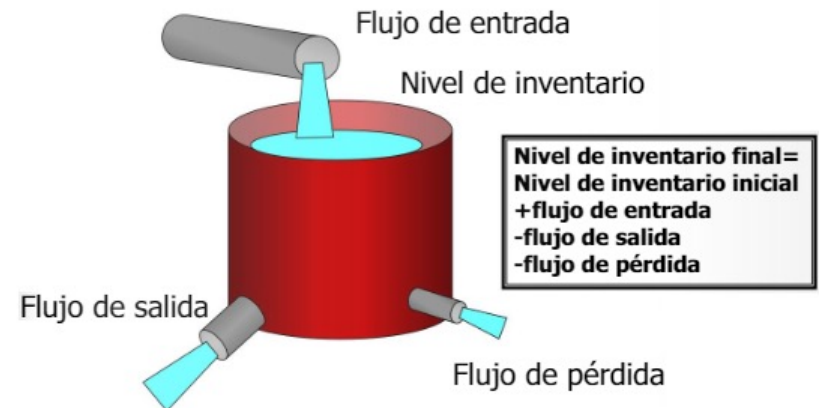
- Inventario en una bodega
- Empleados en una empresa
- Saldo de la cuenta de ahorros
- Número de computadoras en una oficina
- Número de usuarios de un servicio



| Nivel                   | Incremento           | Reducción                                                |
|-------------------------|----------------------|----------------------------------------------------------|
| Inventario              | Flujo de producción  | Flujos de despachos                                      |
| Computadores            | Nuevas adquisiciones | Obsolescencia                                            |
| Saldo de una cuenta     | Depósitos            | Retiros                                                  |
| Usuarios de un servicio | Nuevos clientes      | Clientes que cambian de proveedor o cambian de servicios |

# Flujos

- **Flujos o variables de flujo** → Referidas a un periodo de tiempo
  - Nacimientos, producción por mes, fallos por día
- Son funciones temporales
- Determinan las variaciones de los niveles al pasar el tiempo



## Canales materiales:

- Transmiten las magnitudes físicas entre flujos y niveles
- Se conservan



## Canales de información:

- Transmiten informaciones que no es necesario conservar

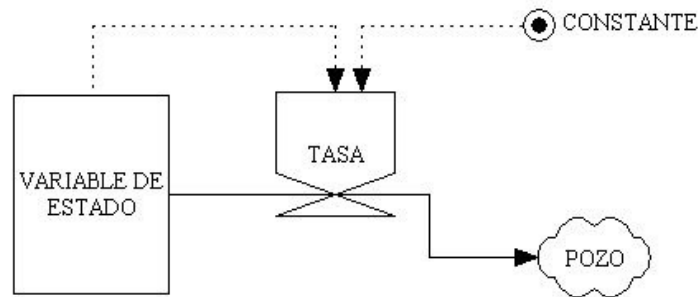




# Fuente o sumidero

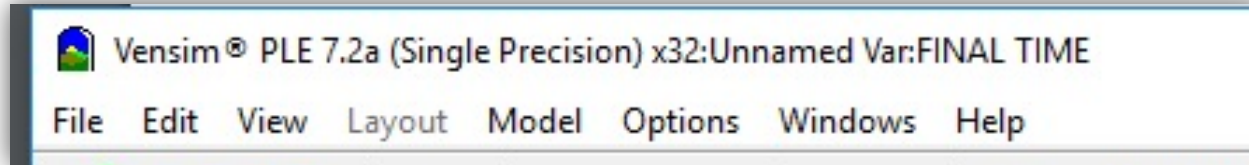
---

- Niveles de contenido inagotable
- No es relevante para la descripción del sistema
- Se podría prescindir de él: se incluye para dar mayor coherencia al diagrama



# Funciones: Menú

---



---

**El menú File (Archivo)** contiene las funciones comunes a cualquier aplicación Windows, como Open Model (Abrir Modelo), Save (Guardar), Print (Imprimir), etc...

---

**El menú Edit (Edición)** permite copiar y pegar las partes seleccionadas del modelo. También se puede buscar una variable en el modelo.

---

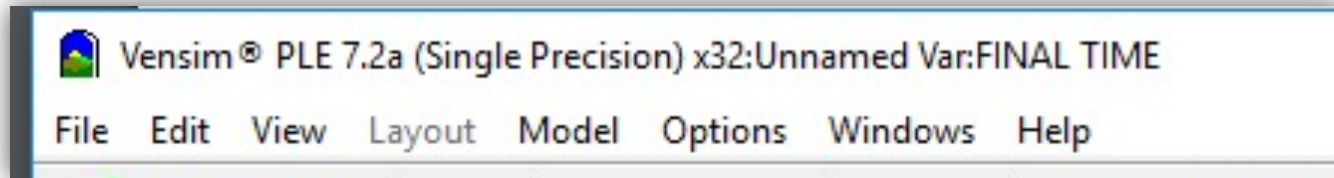
**El menú View (Ver)** tiene las opciones para manipular el dibujo del modelo.

---

**El menú Layout (Diseño)** le permite manipular la posición y el tamaño de los elementos en el dibujo.

# Funciones: Menú

---



---

**El menú Model (Modelo)** proporciona el acceso al Control de la Simulación y a los diálogos de Límites de Tiempo, a las características de comprobación del modelo y a la importación y exportación de los Grupos de Datos.

---

**El menú Options (Opciones)** permite modificar opciones globales del modelo.

---

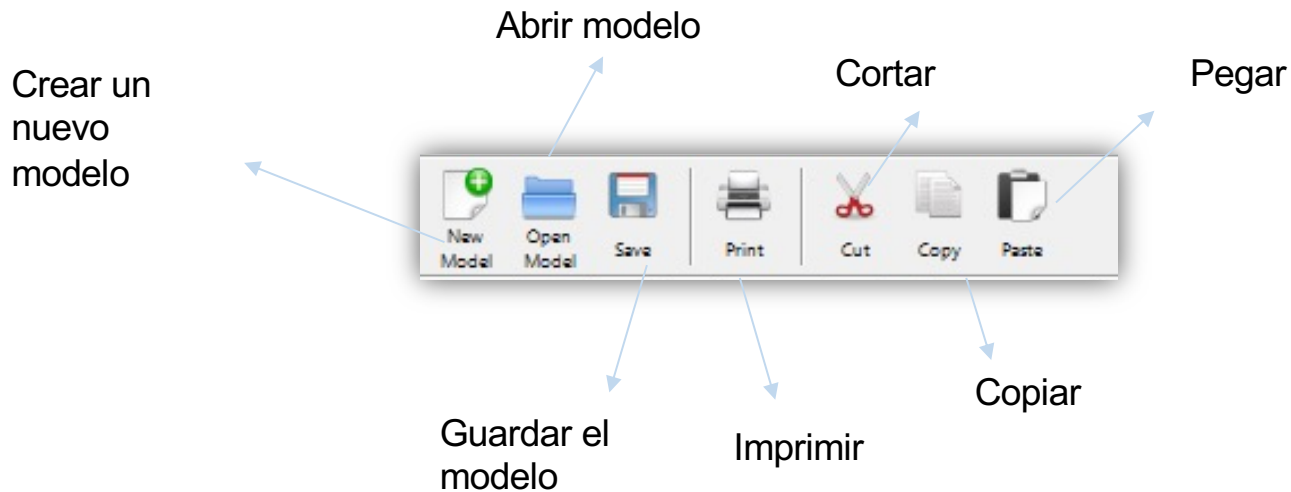
**El menú Windows (Ventanas)** permite cambiar entre diferentes ventanas abiertas.

---

**El menú Help (Ayuda)** proporciona el acceso al sistema de ayuda en línea.

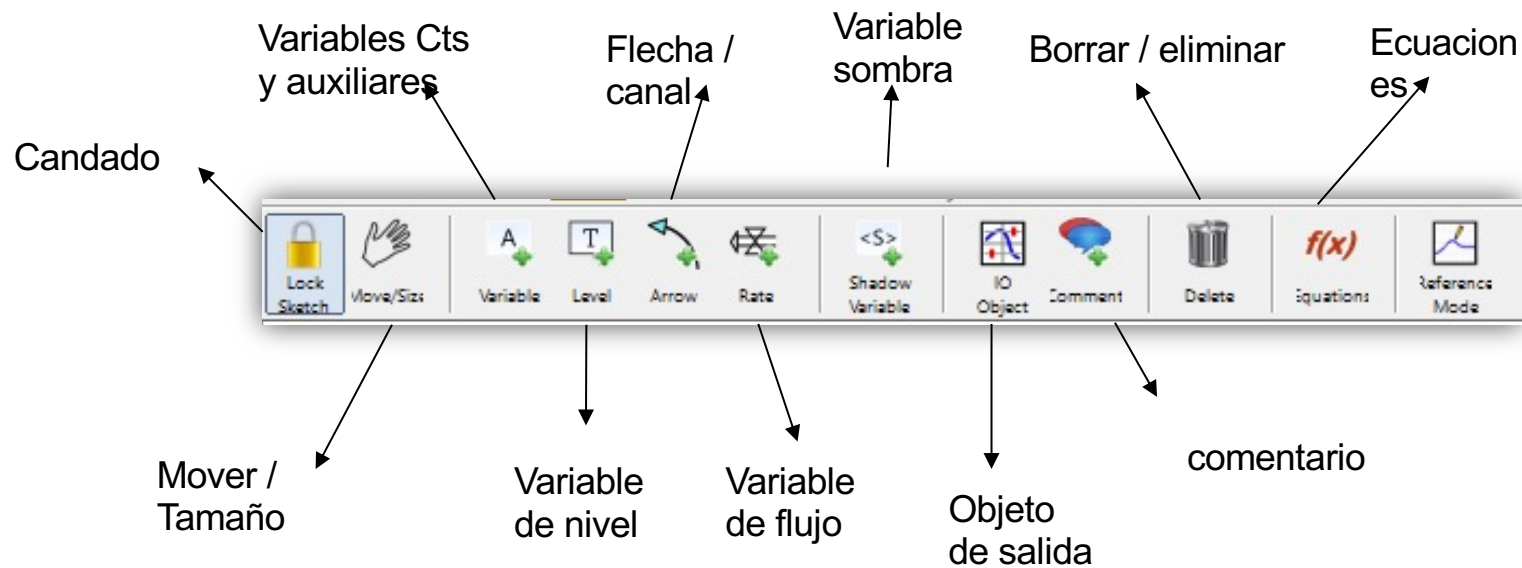
# Barra de herramientas

---



Además de disponer de las herramientas típicas de cualquier aplicación en Windows, la Barra de Herramientas Principal contiene las herramientas necesarias para realizar la simulación de los modelos

# Herramientas de dibujo



Para construir un modelo, primero seleccione una herramienta de la Barra de Herramientas de Dibujo y haga clic en ella con el ratón.

# Herramientas de dibujo

---

---

**Candado:** significa que el dibujo puede ser bloqueado y evitar modificaciones. El puntero del ratón puede seleccionar objetos del dibujo y variables del Espacio del trabajo, pero no puede mover los objetos del dibujo.

---

**Mover/ tamaño:** mueve, cambia de tamaño y selecciona los objetos del dibujo; es decir variables, flechas, comentarios, etc.

---

**Variables constantes y auxiliares:** se utilizan para introducir las variables constantes y variables auxiliares del modelo.

---

**Variable de nivel o estado:** se utiliza para introducir variables principales al modelo.

---

**Flecha / Canal:** se utiliza para introducir las relaciones entre las distintas variables del modelo conocida también como canal de información.

# Herramientas de dibujo

---

---

**Variable de Flujo:** sirve para dibujar los canales entre las variables de estado y si fuera necesario las fuentes y los sumideros (nubes)

---

**Variable sombra:** se utiliza para introducir una variable al modelo sin introducir sus causas.

---

**Objeto de salida:** permite agregar controles deslizantes de entrada para constantes y variables, además de generar gráficos y tablas.

---

**Comentario:** se utiliza para introducir un comentario al modelo

---

**Borrar / eliminar:** sirve para eliminar cualquier tipo de objeto en el modelo.

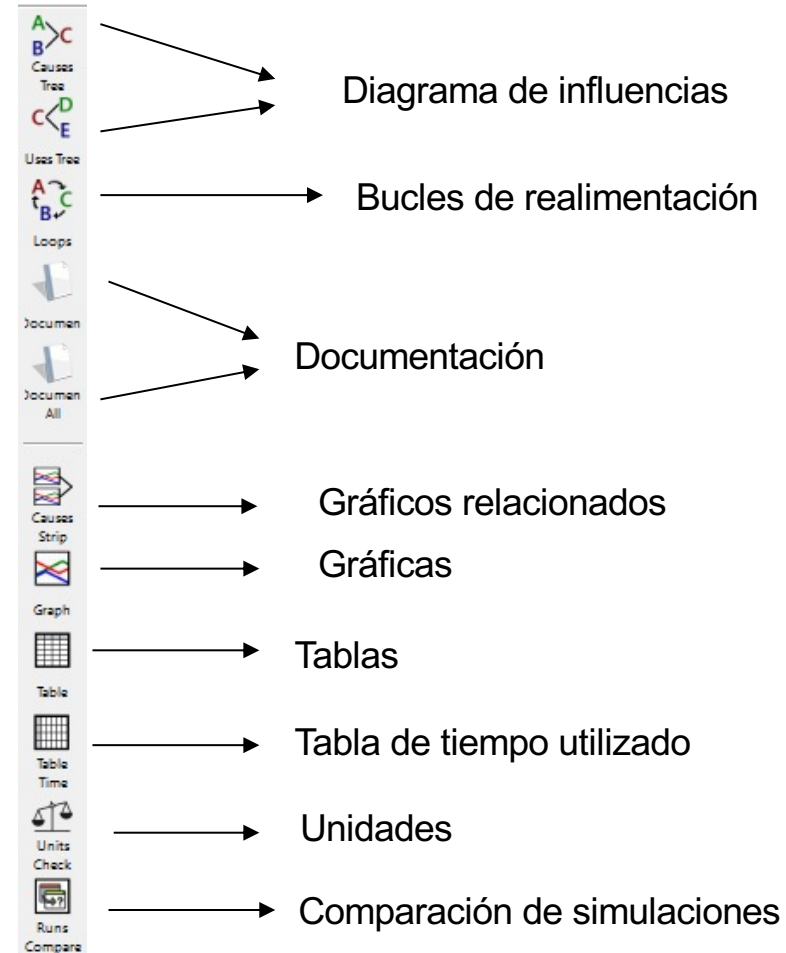
---

**Ecuaciones:** se utiliza para crear y editar las ecuaciones de un modelo utilizando el editor de ecuaciones.

# Barra de herramienta de análisis

Se utilizan para mostrar información sobre la variable que se haya seleccionado. Dependiendo de la herramienta seleccionada se podrá obtener información gráfica o textual del modelo.

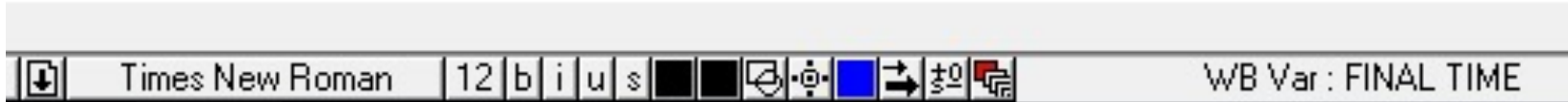
Simultáneamente se pueden tener abiertas todas las ventanas de análisis que se deseen.





# Barra de formatos

---



Entre los atributos que se pueden controlar en el dibujo del modelo se pueden destacar los siguientes:



Cambiar las características de las variables seleccionadas; tipo de fuente, tamaño, negrita, cursiva, subrayado.



Cambiar el color de la variable, el color de la caja, la forma de contorno, la posición del texto, el color de la flecha, la anchura de la flecha, la polaridad de la flecha, etc...

# Barra de formatos

---

---

**Diagramas de influencias:** muestra una representación de las influencias de las variables que afectan o de las influencias de las variables a las que afecta la variable que esté seleccionada.

---

**Bucles de realimentación:** muestra una lista de todos los bucles de realimentación que contienen a las variables de estado.

---

**Documentación:** muestra una información textual del modelo realizado. Contiene las unidades de las variables y las ecuaciones del modelo.

---

**Gráficos relacionados:** muestra los gráficos (evolución temporal) de todas aquellas variables que están relacionadas con la variable seleccionada en el Espacio de Trabajo.

---

**Gráfico:** muestra únicamente la gráfica correspondiente a la variable seleccionada.

---

**Tabla:** genera una tabla de valores de la variable previamente seleccionada.

---

**Comparación de simulaciones:** compara dos simulaciones mostrando las diferencias existentes entre los valores parámetros utilizados en cada una de ellas.

# Funciones más utilizadas

**ABS (x):** Devuelve el valor absoluto de X.

- Igual que el SI ENTONCES MAS ( $X < 0$ ,  $-X$ ,  $X$ ).
- Unidades: ABS (cualquier unidad) à las mismas unidades

**EJEMPLO:**

- ABS (5,0) es igual a 5.0.
- ABS (-5,0) es igual a 5.0.

**EXP (X)**

- Exponencial de ( $e^X$ )
- Devuelve "e a la potencia de X". Igual que la función POWER (e, X), donde  $e=2.718...$
- Unidades: EXP (adimensional) a dimensiones (el argumento debe ser adimensional)

**EJEMPLO**

EXP (1.0) es igual a 2.718282.  
EXP (0.0) es igual a 1.0.

# Funciones más utilizadas

---

## DELAY FIXED

- RETARDO FIJO (ENTRADA, TIEMPO DE RETARDO, EL VALOR INICIAL)
- Devuelve el valor de la entrada demorada por el tiempo de retardo. El valor inicial es el valor de la variable en el lado izquierdo de la ecuación en el inicio de la simulación. El tiempo de retardo puede ser una expresión, pero sólo se utiliza su valor inicial. Restricciones: retardo fijo deben seguir directamente el signo igual.
- Vensim trata la variable del lado izquierdo de la ecuación como una variable de Nivel. En el Editor de ecuaciones elegir el tipo de nivel, subtipo fija Delay.

## DELAY1 I

- DELAY1I (ENTRADA, TIEMPO DE RETARDO, EL VALOR INICIAL) RETRASO EXPONENCIAL CON INICIAL
- Devuelve un retraso exponencial de la entrada. Equivalentes a las ecuaciones:  $DELAY1 = LV / \text{tiempo de retardo}$   $LV = INTEG(\text{entrada} - DELAY1, \text{entrada} * \text{tiempo de retardo})$   $DELAY1I = LV / \text{tiempo de retardo}$   $LV = INTEG(\text{entrada} - DELAY1I, \text{valor inicial} * \text{tiempo de retardo})$

## DELAY3

- DELAY3 (ENTRADA, TIEMPO DE RETARDO) RETRASO DE 3ER ORDEN EXPONENCIAL

# Funciones más utilizadas

---

## RAMP

- RAMP (pendiente, hora de inicio, hora de finalización)
- Devuelve 0 hasta la hora de inicio y luego se desliza hacia arriba hasta la hora de finalización y luego mantiene constante.
- Ejemplo RAMP (1, 10,25) es 0 hasta la hora 10, luego de una línea de 15 en el momento de 25, entonces 15 después.

## RANDOM NORMAL

- Aleatoria Normal (m, x, h, r, s) proporciona una distribución normal de media 0 y varianza 1 antes de que se estira, se movió y truncado. Esto es equivalente a una distribución normal con H media y desviación estándar r. Las unidades de r deben coincidir m, x y h.

# Funciones más utilizadas

## IF THEN ELSE (SI -ENTONCES -CASO CONTRARIO)

- Fórmula: (cond, tval, FVal)
- Devuelve primer valor (tval) si la condición (cond) es verdadera; segundo valor (FVal) si la condición es falsa.
- COND debe ser una expresión booleana o una expresión o variable que se puede interpretar como Boolean. Sólo el valor devuelto se evalúa, por lo que el valor que podría ser una expresión que daría lugar a un error. Tenga en cuenta que las expresiones tales como  $(a > b)$  exigen que A y B tengan la misma dimensión y la expresión

## Ejemplos

- SI ENTONCES CASO CONTRARIO (1.0 < 2.0, 3.0, 4.0) es igual a 3.0.
- SI ENTONCES CASO CONTRARIO (1.0 > 2.0, 3.0, 4.0) es igual a 4.0.
- SI ENTONCES CASO CONTRARIO (X = 0.0, 1.0, 1.0 / X) es igual a

Si X es 0.0, Vensim no intentará calcular 1 / X y no habrá error.

# Funciones más utilizadas

---

## INTEGER(x) i

- INTEGER (x) la parte entera de x
- Ejemplo ENTERO (5,4) es de 5,0

## LN(X)

- LN (X) Logaritmo natural de [variable] Devuelve el logaritmo natural de X.
- Ejemplo
- LN (2.718282) es igual a 1.0.
- LN (-5,0) se produce un error (LN de un número  $\leq 0$  no está definido).
- LN (EXP (2.0)) es igual a 2,0 (por definición).

## Ejemplo 1: Inventario

---

Se tiene un inventario de mercancías con una tasa de entrada de 100 piezas al mes. En el almacén se cuenta con un inventario inicial de 200 piezas. Se cuenta con la siguiente política de inventario, cuando el almacén tenga más de 150 piezas almacenadas, entonces se despacha la cantidad de mercancía esperada; en caso contrario, despachará 60 unidades. Se tiene información de que la mercancía deteriorada representa un 5% del inventario. Las salidas de mercancía se pueden representar mediante la generación de números aleatorios uniformes entre 80 a 110. Utilice un valor semilla de 95. Realizar corrida de simulación para 24 meses.

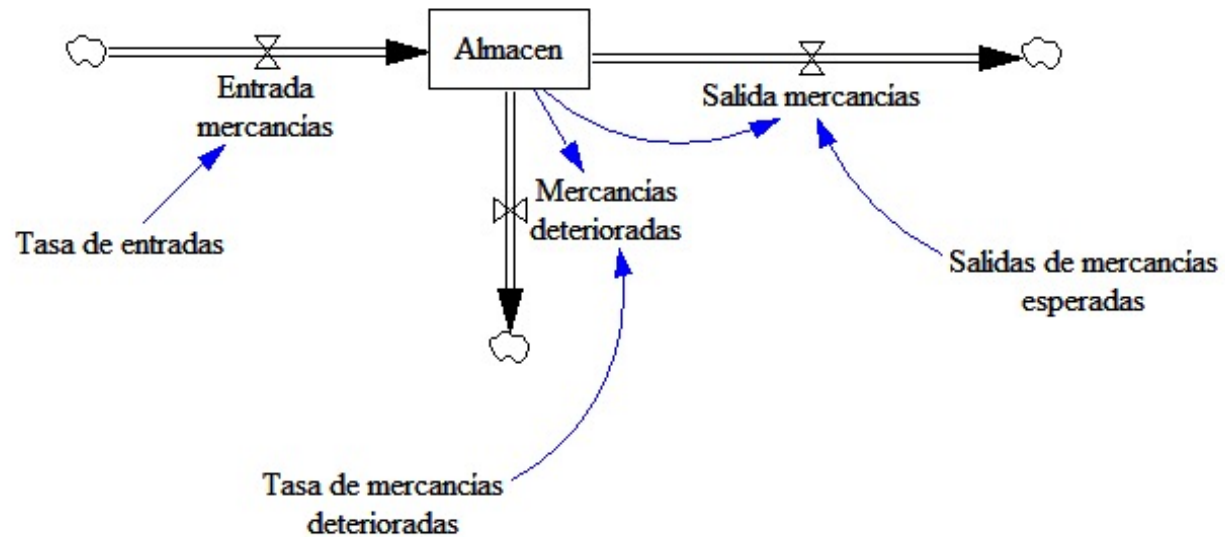


## Ejemplo 1: Inventario

---

| Tipo de variable | Nombre                | Valor inicial | Ecuación                        | Unidades   |
|------------------|-----------------------|---------------|---------------------------------|------------|
| Estado / Nivel   | Almacén               | 200           | EM – MD – SM                    | Piezas     |
| Flujo            | Entradas de mercancía |               | TE                              | Piezas/mes |
| Flujo            | Salidas de mercancía  |               | IF A >150;SE;60                 | Piezas/mes |
| Flujo            | Mercancía deteriorada |               | TM * A                          | Piezas/mes |
| Auxiliar         | Tasa de entrada       |               | 100                             | Piezas/mes |
| Constante        | Tasa de mercancía     |               | 5%                              |            |
| Auxiliar         | Salidas esperadas     |               | Random uniform<br>(80, 110, 95) | Piezas/mes |

# Ejemplo 1: Inventario



## Ejemplo 2: Producción e inventario

---

Simule un sistema de una empresa que tiene una línea de producción para empacar comestibles. La empresa tiene tres procesos, ubicar el papel, dispensar el comestible en el papel y finalmente envolver el producto. El total del proceso demora 3.5 minutos. Cada proceso tiene el mismo tiempo de ciclo. Necesitamos ver como se relacionan los pedidos. El total de horas laborales es de 8 horas durante 20 días al mes. Se cuenta con un almacén de materia prima, el valor del inventario inicial es de 2800 productos. La cantidad de pedido de materia prima mensual es de 2800 unidades.

- a. Cuánto es el máximo de pedidos que se puede producir en un mes?
- b. Simule el proceso por 6 meses y analice los resultados

## Ejemplo 2: Producción e inventario

---

| Time (Month) | 0    | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    |
|--------------|------|------|------|------|------|------|------|
| Ordenes MP   |      | 2800 | 2800 | 2800 | 2800 | 2800 | 2800 |
| Almacén :    | 2800 | 2857 | 2914 | 2971 | 3028 | 3085 | 3142 |
| Pedidos :    | 2743 | 2743 | 2743 | 2743 | 2743 | 2743 | 2743 |
|              | 57   |      |      |      |      |      |      |

# Bibliografía

---

- Sterman, J. (2000). *Business Dynamics – Systems Thinking and Modeling for a Complex World*. McGraw-Hill
- Cassandras & Lafortune. (2008). *Introduction to Discrete Event Systems*. Springer
- Alvarez, H. (2011). *Introducción a la Simulación*. Universidad Tecnológica de Panamá
- Schaffernicht, M. (2006). *Dinámica de Sistemas – Tomo 1: Fundamentos*.
- Aracil, J. (1995). *Dinámica de Sistemas*. Isdefe
- Blanchard, B. (1996). *Ingeniería de Sistemas*. Isdefe
- Rees, M. (2015). *Business Risk and Simulation Modeling in Practice*. John Wiley & Sons Ltd
- Winston, W. (2017) *Microsoft Excel 2016 – Data Analysis and Business Modeling*. Microsoft press
- Dr. Lars Meyers. *Supply Chain Dynamics*. MIT – EDX
- [http://www.dinamica-de-sistemas.com/libros/diagrama\\_forrester.htm](http://www.dinamica-de-sistemas.com/libros/diagrama_forrester.htm)
- <http://www.vensim.com/documentation/index.html>



Ricardo Caballero, M.Sc.

Docente Tiempo Completo  
Facultad de Ingeniería Industrial  
Centro Regional de Chiriquí  
Universidad Tecnológica de Panamá

E-mail: [ricardo.caballero@utp.ac.pa](mailto:ricardo.caballero@utp.ac.pa)

<https://www.academia.utp.ac.pa/ricardo-caballero>